

PAT-NO: JP02001264373A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001264373 A

TITLE: APPARATUS AND METHOD FOR MEASUREMENT OF  
PIEZOELECTRIC  
CONSTANT OF PIEZOELECTRIC THIN FILM

PUBN-DATE: September 26, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
YAMAMOTO, MASAKI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	N/A

APPL-NO: JP2000081229

APPL-DATE: March 23, 2000

INT-CL (IPC): G01R029/22, B81B007/02 , G01D005/14

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a measuring apparatus whose accuracy and reproducibility are high and which is low-cost in the measurement of the piezoelectric constant of a piezoelectric thin film used as an actuator for a silicon surface micromachine device and to provide its measuring method.

SOLUTION: A sample substrate 1 on which the piezoelectric thin film 2 is formed is pressed down by a load needle 4 from the upper part, and a piezoelectric charge generated is measured by a charge amplifier 10 and a personal computer 12. The load needle 4 is fixed to a member 5 which has compliance only in the up-and-down direction, and the member 5 is fixed to a

Z-stage 6. Thereby, when the Z-stage 6 is moved up and down, the load needle  
4  
can press down the same place on the sample substrate 1 with good  
reproducibility, and, at the same time, a load can be controlled by the  
deformation amount of the member 5. The precise distribution of strains can be  
calculated by a measurement by an electronic balance 9, and an electric noise  
can be removed by the signal processing of the personal computer 12. Thereby,  
the piezoelectric constant can be measured stably by a simple constitution.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-264373

(P2001-264373A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
G 0 1 R 29/22		G 0 1 R 29/22	E 2 F 0 7 7
B 8 1 B 7/02		B 8 1 B 7/02	
G 0 1 D 5/14		G 0 1 D 5/14	P

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-81229 (P2000-81229)

(22) 出願日 平成12年3月23日 (2000.3.23)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 山本 正樹

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1

号 松下技研株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

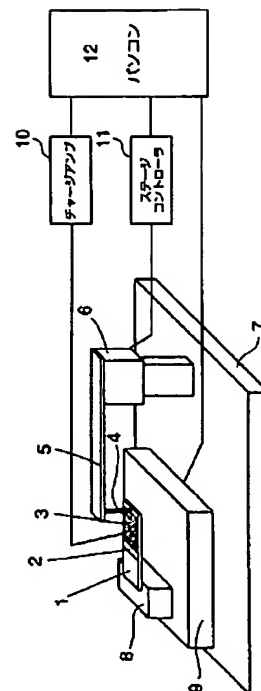
Fターム(参考) 2F077 AA49 MM07 VV02

(54) 【発明の名称】 圧電薄膜の圧電定数測定装置および測定方法

(57) 【要約】

【課題】 シリコン表面マイクロマシンデバイス用のアクチュエータとして用いられる圧電薄膜の圧電定数測定において、精度・再現性が高く、安価な測定装置および方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 圧電薄膜2が形成されたサンプル基板1を上方から荷重針4により圧下し、発生する圧電電荷をチャージアンプ10とパソコン12で測定する。荷重針4は上下方向にのみコンプライアンスを持つ部材5に固定され、部材5はZステージ6に固定される。これより、Zステージ6が上下すると、荷重針4はサンプル基板1上の同一個所を再現性良く圧下でき、同時に荷重は部材5の変形量により制御できる。電子はかり9での測定により正確なひずみ分布が算出でき、パソコン12の信号処理により電気ノイズを取り除くこともできる。以上により、安定した圧電定数の測定が簡易な構成で可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電薄膜を形成したサンプル基板と荷重針とを有し、前記サンプル基板に前記荷重針が接触することにより荷重を与え、その時に前記圧電薄膜に発生した圧電電荷を計測することにより、前記圧電薄膜の圧電定数を測定できることを特徴とする圧電定数測定装置。

【請求項2】 荷重針は、一方向のみにコンプライアンスを持つ部材に固定され、さらに、前記部材が前記一方向に移動するステージに固定されていることを特徴とする請求項1記載の圧電定数測定装置。

【請求項3】 荷重針がサンプル基板を荷重するとき生じる力のループ中の任意の位置に、荷重計測部が存在することを特徴とする請求項1記載の圧電定数測定装置。

【請求項4】 恒温カバーがサンプル基板を被うことを特徴とする請求項1記載の圧電定数測定装置。

【請求項5】 圧電薄膜の電荷を測定するチャージアンプを有し、ステージを下降することにより荷重針の荷重を変化させる前後に、チャージアンプの読みと荷重計測部の読みを測定することを特徴とする圧電定数測定方法。

【請求項6】 前記チャージアンプの出力を時系列的に連続して計測することにより、前記チャージアンプのドリフトをキャンセルでき、さらに測定ノイズを平均化により除去することができ、前記圧電電荷を正確に測定できることを特徴とする請求項5記載の圧電定数測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、シリコン表面マイクロマシンデバイス用のアクチュエータとして用いられる圧電薄膜の圧電定数を測定するための測定装置および方法に関するもので、片持ち梁状のサンプル基板に形成された圧電薄膜の特性を、サンプル基板に荷重をかけることにより変形させ、その時に発生する圧電電荷を求めることにより圧電定数を測定する技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、サンプル基板上に形成された圧電薄膜の圧電定数の測定には、『大和田他「ECRスパッタ法を用いたPZT薄膜の形成と評価」電学論E, 117巻10号, p.497-500』、『M.Sakata, et. al., Basic Characteristics of a Piezoelectric Buckling Type of Actuator, The 8th International Conference on Solid State Sensors and Actuators, 1995, p.422-425』、『海野他「圧電検出型AFMカンチレバーの開発」1998年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, p.425』に記載されたものに代表される構成が知られている。

【0003】すべての構成において、片持ち梁状に保持されたサンプル基板に機械的な力を及ぼし変形させることを特徴とするが、以下具体的に説明する。

【0004】まず、図5に大和田他に代表される第1の従来例の構成図を示す。

【0005】図5において、101はサンプル基板、102は圧電薄膜、103は圧電薄膜上の上部電極、104は加速度センサ、105はサンプルホルダ、106は加振器である。

【0006】ここで、サンプル基板101には図示しないがPt/Tiの下部電極が形成されており、上部電極103と下部電極の間で発生する電荷はチャージアンプ107により電圧に変換される。加速度センサ104はサンプル基板101に加わる加速度を測定し、測定結果は圧電薄膜102の電荷量とともにオシロスコープ108に記録される。

【0007】このような構成において、加振器106は、サンプルホルダ105、サンプル基板101を図中矢印のごとく一定振幅で振動させる。そして、この状態で、加速度センサ104の信号を見ることにより、サンプル基板101に加わる加速度を知ることができる。加速度はサンプル基板101全体に一樣な慣性力を及ぼすので、サンプル基板101のひずみ分布を一樣分布荷重を受ける梁構造としてモデル化して計算することができる。圧電薄膜102のサンプル基板101内での位置は予めわかっており、サンプル基板表面と圧電薄膜の間でのひずみ量の連続性を仮定して、圧電薄膜102のひずみ分布も同時に算出できる。オシロスコープ108より求めた発生圧電電荷Q、圧電薄膜102のひずみ量ε、上部電極103の面積S、圧電薄膜のヤング率Epを用いて、圧電定数e31は以下のように求まる。

## 【0008】

## 【数1】

$$e_{31} = d_{31} \cdot E_p = \frac{Q}{\epsilon S}$$

【0009】次に、M. Sakataらによる第2の従来例を図6に示す。これは、図5に示した第1の従来例を改良したもので、サンプル基板101のひずみ分布を加速度から算出するのではなく、直接変位として計測するものである。このため、高価な加振台を使用する必要がないという特徴をもつ。

【0010】まず、図6においてサンプル基板101はサンプルホルダ105を介してベース109に固定されている。サンプル基板101の先端付近にはその変位を非接触で測定するための変位センサ110が配置されている。サンプル基板101に衝撃力111を与えると、サンプル基板101は変形し、その時の先端変形量と圧電薄膜102の発生電荷量がオシロスコープ108に記録される。先端変位量からサンプル基板101を先端荷重を受ける一様片持ち梁と仮定して、ひずみ分布を算出することができる。これより、圧電薄膜102に加わるひずみ量εがもとまり、圧電定数が第1の従来例と同様にもとまる。

【0011】次に、海野らによる第3の従来例を図7に示す。これは、図6に示した第2の従来例を改良したもので、図6に示したような衝撃力111を使用せず、サンプル基板101の自由振動を利用することにより、衝撃の瞬間を計測する困難さを排除したものである。

【0012】まず、図7においてサンプル基板101はサンプルホルダ105を介してベース109に固定されている。サンプル基板101の先端付近にはその変位を非接触で測定するための変位センサ110が配置されている。サンプル基板101にひずみを与えた後開放すると自由振動が発生する。この自由振動の変位を変位センサ110で測定することにより、サンプル基板101が1次共振を起こしていると仮定した場合のひずみ量分布を算出することができる。オシロスコープには同時に発生電荷が記録されており、この両者から圧電定数が第1の従来例と同様にもとまる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上の3つの従来例は、サンプル基板上に形成された圧電薄膜の圧電定数測定に利用できる可能性を有するとはいえ、以下のような課題を有する。

【0014】まず、第1の従来例では、サンプル基板101を正確に振動させるための加振器106が必要であり、一般にこのような加振器は高価となる。また、加振器の振動を正確にサンプル基板101に伝えるためには、サンプルホルダ105が強固にサンプル基板101を固定する必要がある。ここで、図8はサンプルホルダの一例であるが、固定ねじ112でスリット加工されたサンプルホルダ105を変形させ、サンプル基板101を保持している。もし、固定状態が緩いものであれば、加振器の振動が正確にサンプル基板101へ伝わらず、加速度センサ104とサンプル基板101の受ける加速度は異なるものになってしまう。ところが、一般にサンプル基板101は最大でも数センチ各の小型サイズであり、これを片持ち梁として保持する必要から当然、保持台は小さくなってしまい保持が難しくなる。さらに、サンプル基板は一般に単結晶シリコン等の硬脆性材料からなり、保持力を不用意に高めると破壊する恐れがある。このように、脆くて小型のサンプル基板101をサンプルホルダ105に強固に固定しなければならないという問題点がある。

【0015】次に、第2、第3の実施例では、第1の実施例とはことなり、高価な加振器を使用していない。反面、正確な変形量を知るための変位センサ110を用いている。通常、サンプル基板101はシリコン基板等の硬脆材料であるため、変位センサ110で計測される変位量は1mm以下と小さい。このため、図8に示すように、サンプルホルダ105の保持が十分に強固でない場合、片持ち梁としてのサンプル基板101の変形以外に、サンプルホルダ105での保持変形が大きくなり、

片持ち針の変形測定の誤差となる。この結果、第1の従来例と同様に算出される圧電薄膜102の圧電定数に誤差が発生することになる。

【0016】本発明は、以上の課題を解決し、サンプル基板のサンプルホルダへの固定強度によらず安定した測定を行うことができ、また、加振器等の高価な装置を使用することなく圧電薄膜の圧電定数の測定を可能とするような測定装置およびその測定方法を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するために本発明は、圧電薄膜を形成したサンプル基板と荷重針を有し、サンプル基板に前記荷重針が接触することにより荷重を与え、その時に発生した圧電電荷を計測することにより、前記圧電薄膜の圧電定数を測定できることを特徴とする圧電定数測定装置である。

【0018】より具体的には、まず、サンプル基板を荷重するための荷重針が上下方向のみにコンプライアンスを持つ部材に固定され、この部材はさらに上下方向に移動するステージに固定されている。

【0019】ここで、ステージが下降すると荷重針がサンプル基板に接触し、さらにステージが下降を続けることで荷重針を取り付けた部材が変形し、サンプル基板を圧下する荷重が発生する。発生した荷重は装置の力のループの中に配置された荷重計測部により計測される。

【0020】圧電定数の測定にあたっては、荷重針のサンプル基板への荷重前後での圧電電荷の差を求め、加えられた荷重から圧電薄膜のひずみを算出することで圧電定数を算出する。

【0021】本測定においては、荷重は静的にサンプル基板に与えられる。このため、従来例の図8に示したようにサンプル基板のサンプルホルダへの固定が緩い場合でも、サンプル基板にかかる荷重を力のループ内の荷重測定部で正確に測定することができ、この結果、常にサンプル基板上の正確な応力分布・ひずみ分布を知ることができる。さらに、一方向にコンプライアンスを持つ部材は荷重方向のみに変形するため、複数回にわたる接触・荷重・非接触の繰り返しを行っても、同一の点を荷重針によって荷重することができる。つまり、サンプル基板の固定方法の良し悪しによらず、繰り返し測定する場合でも安定にサンプル基板上の同一点を荷重でき、再現性の高い圧電薄膜の圧電定数測定方法を実現することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】請求項1記載の本発明は、圧電薄膜を形成したサンプル基板と荷重針を有し、前記サンプル基板に前記荷重針が接触することにより荷重を与え、その時に前記圧電薄膜に発生した圧電電荷を計測することにより、前記圧電薄膜の圧電定数を測定できることを特徴とする圧電定数測定装置である。

【0023】このような構成により、サンプル基板上に構成された圧電薄膜の圧電定数測定を行える。

【0024】ここで、請求項2記載のように、前記荷重針は、一方向のみにコンプライアンスを持つ部材に固定され、さらに、前記部材が前記一方向に移動するステージに固定されていることを特徴とすることが、荷重針の接触位置の再現性を高める上で好ましい。

【0025】そして、請求項3記載のように、前記荷重針が前記サンプル基板を荷重するときに生じる力のループ中の任意の位置に、荷重計測部が存在することが、サンプル基板のサンプルホルダへの固定状態によらず、正確に圧電定数を測定できるという観点から好ましい。

【0026】さらに、請求項4記載のように、前記圧電薄膜が温度変化により焦電電荷を発生し、前記圧電電荷計測の誤差となることを防止するため、恒温カバーが前記サンプル基板を被うことが、焦電効果に起因する圧電定数測定誤差を防止する観点から好ましい。

【0027】また、請求項5記載の本発明は、前記圧電薄膜の電荷を測定するチャージアンプを有し、前記ステージを下降することにより前記荷重針の荷重を変化させる前後に、チャージアンプの読みと前記荷重計測部の読みを測定することを特徴とする圧電定数測定方法である。

【0028】さらに、請求項6記載のように、前記チャージアンプの出力を時系列的に連続して計測することにより、前記チャージアンプのドリフトをキャンセルでき、さらに測定ノイズを平均化により除去することができ、前記圧電電荷を正確に測定できることが、測定精度を高める観点から好ましい。

【0029】以下、本発明の各実施の形態について、図を用いて詳細に説明をしていく。

【0030】(実施の形態1) 図1は、本実施の形態の圧電定数測定装置を示す。

【0031】図1において、1はサンプル基板であり、サンプル基板1の全面には図示されないPt/Ti下部電極が形成されている。さらに、下部電極の上に圧電薄膜2、上部電極3が形成されている。サンプル基板1の端部の上方に荷重針4が配置され、荷重針4は上下方向のみにコンプライアンスをもつ部材5により保持される。部材5は上下方向に可動のステージ6に固定されている。サンプル基板1はサンプルホルダ8に固定され、サンプルホルダ8は電子はかり9に固定されている。電子はかり9およびステージ6はベース7に共に固定されている。なお、図示しない恒温カバーが測定装置全体を覆っている。

【0032】まず、荷重針4の働きであるが、ピンポイントでサンプル基板1を荷重することである。同時に荷重時にサンプル基板1上の下部電極にキズをつけ、正確に荷重位置を記録する。接触位置を記録する他の方法としては、不滅インク等を吐出する能力をもつ荷重針を用

いたり、また、サンプル基板1上に不滅インク等を予め塗布しておき、荷重針4により接触部のインクを除去したりしてもよい。

【0033】さて、荷重針4は、部材5に固定されているが、部材5の役割は、ステージ6の上下動にしたがって変形し、この変形により荷重針4がサンプル基板1に及ぼす荷重を発生する。また、部材5はコンプライアンスは上下方向のみにもっていて、荷重針を基板1上の特定の位置に再現性良く導く働きがある。このため、図中では部材5はりん青銅板の片持ち梁構造としているが、図2に示すような、平行バネ13、エデンバネ14、ばね15と並進ガイド16を組み合わせたアランジャ17であっても構わない。部材5のコンプライアンスは、荷重針4の荷重の再現性要望とステージの位置決め再現性の関係から決定され、本形態では50gf/mm程度としている。本形態では、ステージ6は0.5ミクロン/パルスのパルスモータ駆動ステージを利用している。各種精度劣化要因を考慮してステージの位置再現性は2μmとすると、前記コンプライアンスから荷重の再現性は0.1gfとなる。なお、ステージ6はステージコントローラ11を介してパソコン12から制御できる。

【0034】次に、サンプル基板1はサンプルホルダ8を介して電子はかり9に載せられている。荷重針4がサンプル基板1に接触したときの荷重の流れは、荷重針4→サンプル基板1→サンプルホルダ8→電子はかり9→ベース7→ステージ6→部材5→荷重針4にもどる、という力のループを構成しているので、電子はかり9は正確に荷重針4がサンプル基板1におよぼす荷重を計測できる。さらに、荷重は静的に与えられており、仮にサンプルホルダ8がサンプル基板1を十分に剛性高く保持できず、従来例図8に示すような状況になっても、荷重針4の接触荷重は何等誤差無く計測できることに、本方式の特徴がある。なお、電子はかり9の分解能は本発明では0.1gfであり、計測値はパソコン12により読み取ることができる。また、本形態の電子はかりは他の荷重計測手段、たとえばロードセル等でも容易に代用できる。さらに、キャリブレーションの労をいとわなければ、コンプライアンスを有する部材5の表面に歪ゲージを取り付けることにより、ロードセルの代用とすることもできる。

【0035】サンプル基板1上には図示されていないPt/Tiの下部電極が全面形成されており、さらにPZT等の圧電薄膜3が形成され、その上部にPt等の上部電極3が形成されている。圧電薄膜に加わる応力に応じて発生する圧電電荷はこの下部電極と上部電極3から取り出され、チャージアンプ10で電圧に変換され、パソコン12により読み取られる。

【0036】図1中、図示していない恒温カバーの役割は外部からの赤外線をカットするとともに、室内の気流を遮断することにより、圧電薄膜2の温度を一定に保つ

ことである。このことにより、圧電定数測定中に圧電薄膜2の焦電電荷が混入して測定の誤差を発生することを防止できる。恒温カバーは透明なアクリル材料から作られ、内部の観察を容易にすることで作業性を高めている。

【0037】さて、以上説明した測定装置を用いた圧電定数測定について、具体的に説明する。

【0038】図3は測定中にチャージアンプにより計測された圧電電荷の変化を表している。図中Aはチャージアンプをリセットした時で、その後、約1秒間圧電電荷を連続計測する。計測データには電気ノイズとチャージアンプのドリフト成分が含まれており、計測データを最小二乗フィットすることにより、チャージアンプ10のドリフト量を調べる。この後、図中Bにおいてステージ6を下方に動かしはじめ、Cまでステージが移動することにより圧電電荷が発生する。ステージ移動後、約1秒間圧電電荷を連続計測する。計測データからチャージアンプ10のドリフト成分を取り除いた正味の圧電電荷Qを求めることができる。さらに、B点とC点で電子はかりの出力をパソコンで読み込み、その差を求めることで、荷重Fを知ることができる。

【0039】ここで、圧電効果は次式であらわされる。

【0040】

【数2】

$$Q = \int d_{31} \sigma dx$$

【0041】サンプル基板1の寸法が図4に示すようであり、圧電薄膜2がサンプル基板1に対して十分に薄いと考え、曲げの中立軸はサンプル基板1の中央を通る。ちなみに、本形態による測定例としては、0.3mm厚のMgO基板上に形成された厚さ2μmのPZT圧電薄膜があり、上記仮定は十分に成り立つ範囲である。サンプル基板1の表面のひずみ量と圧電薄膜2のひずみ量の連続性を仮定すると、圧電薄膜3に発生する応力σは以下のようにあらわされる（Esは基板のヤング率、Epは圧電薄膜のヤング率とする）。

【0042】

【数3】

$$\sigma(x) = \frac{M(x) \cdot \frac{t}{2} \cdot E_p}{I \cdot E_s} = \frac{Fx \cdot \frac{t}{2} \cdot E_p}{\frac{1}{12} b t^3 \cdot E_s} = \frac{6Fx E_p}{b t^2 E_s}$$

【0043】これを（数2）に代入して整理すると

【0044】

【数4】

$$Q = \int d_{31} \frac{6Fx E_p}{b t^2 E_s} dx = \frac{6d_{31} F E_p}{b t^2 E_s} \int x dx = \frac{6d_{31} F x S E_p}{b t^2 E_s}$$

【0045】ここで、x（バー付き）は上部電極3が矩形であると仮定したときの荷重点から上部電極中心までの距離である。以上より

【0046】

【数5】

$$e_{31} = d_{31} E_p = \frac{Q b t^2 E_s}{6 F x S}$$

【0047】となり、発生電荷Q、荷重F、サンプル基板ヤング率、サンプル基板寸法から圧電定数e31をもとめることができる。

【0048】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、圧電薄膜を形成したサンプル基板に荷重針を対向させ、荷重針を上下のみにコンプライアンスを持った部材を介してステージにて上下に動かし、荷重針がサンプル基板に与える荷重を力のループ内に設置された電子はかりにより計測することで、圧電薄膜の圧電定数を知ることができる。

【0049】かかる構成によれば、荷重針がサンプル基板上の同一個所に、同一荷重で再現性よく接触することができ、また、電子はかりによりサンプル基板の保持状態に影響無く接触荷重を正確に測定し、かかる結果として安定した圧電定数の測定を行うことが可能となるという有利な効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態による圧電定数測定装置の構成概略図

【図2】本発明の一実施の形態による1方向コンプライアンス部材の他の実現例を示す概略図

【図3】本発明の一実施の形態により測定された圧電電荷の変化を表す特性図

【図4】本発明の一実施の形態で測定されたサンプル基板の寸法を表す概略図

【図5】従来の圧電定数測定装置の構成概略図

【図6】従来の圧電定数測定装置の構成概略図

【図7】従来の圧電定数測定装置の構成概略図

【図8】従来のサンプル基板保持の不適切な例を示す概略図

【符号の説明】

1 サンプル基板

2 圧電薄膜

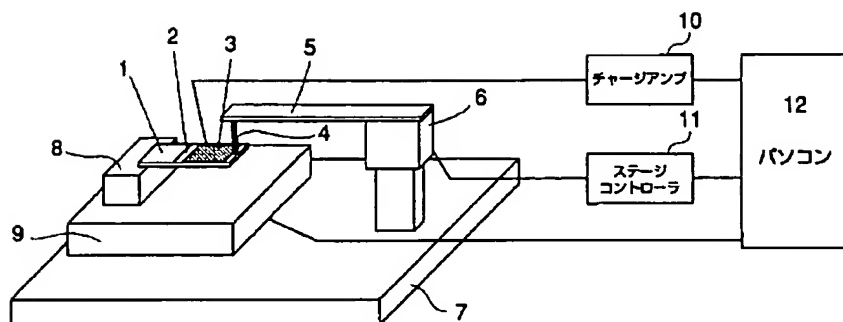
3 荷重針

5 部材

6 ステージ

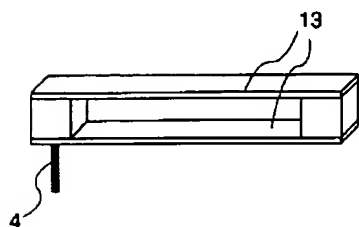
7 電子はかり

【図1】

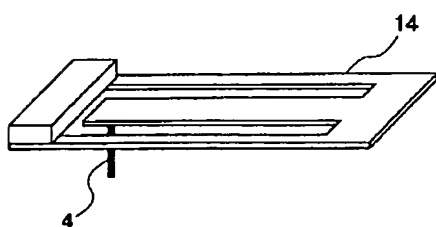


【図2】

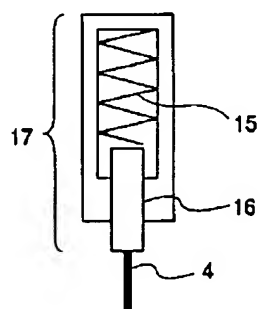
(a)



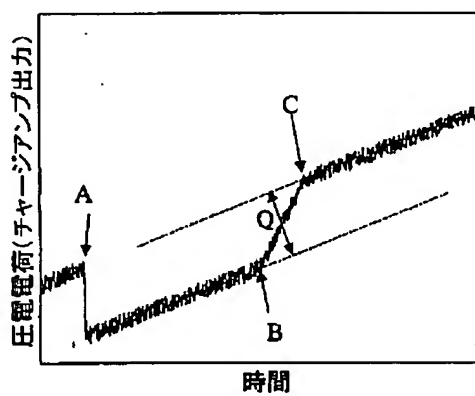
(b)



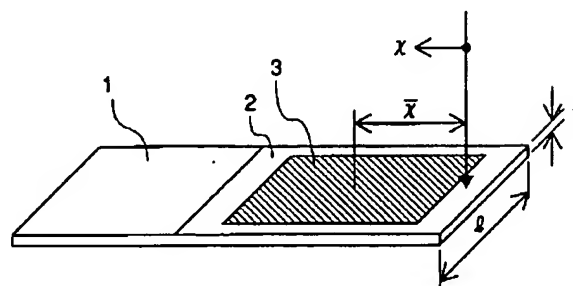
(c)



【図3】

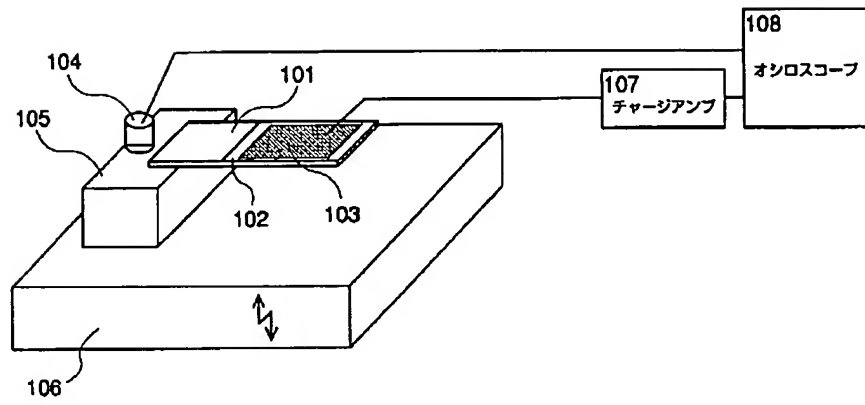


【図4】

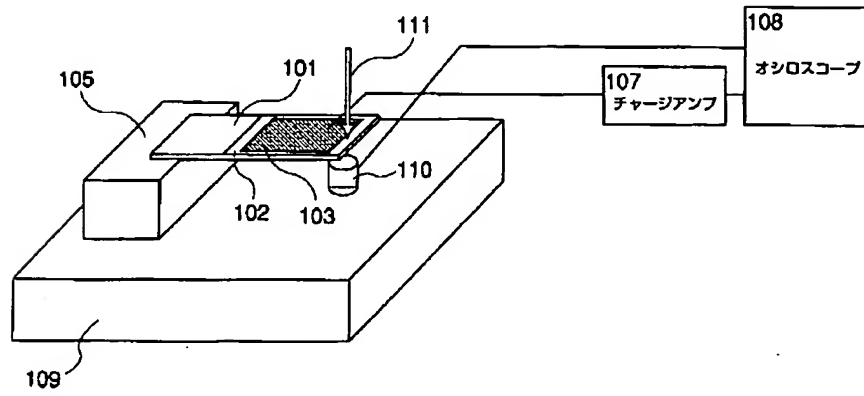




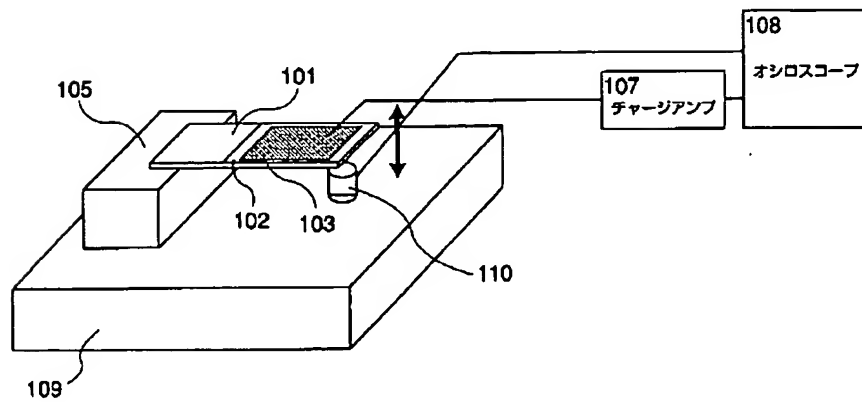
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

